

文章编号: 1671-6612 (2021) 01-078-04

# 基于 phoenics 在大学教室通风效果的模拟分析

惠大好 狄育慧

(西安工程大学城市规划与市政工程学院 西安 710048)

**【摘要】** 采用 phoenics2016 进行数值计算, 通过  $K-\varepsilon$  湍流模拟的方法确定方案的可实施性。模拟大学教室应用室内排风(新风从窗户开启口进去室内, 从排风口排出), 根据空气龄及风场分布情况, 通过大学教室送风及排风实测, 并对通风效果进行分析; 结果表明, 模拟排风量为  $1.7\text{m}^3/\text{h}$  状态下大多数学生周围的空气龄数值都接近平均值  $97\text{s}$ , 且无室外风速, 窗户全开的情况下, 还能达到  $1.5\text{m/s}$  的送风风速。自然通风窗户全开状态下需满足, 送风速度大于  $0.5\text{m/s}$  的条件才能排除室内污染物。

**【关键词】** phoenics2016; 数值计算; 室内排风; 空气龄; 通风效果

中图分类号 TU834.3+3 文献标识码 A

## Ventilation Effect Simulation Analysis Based on PHOENICS in University Classroom

Hui Dahao Di Yuhui

(College of Urban Planning and Municipal Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048)

**【Abstract】** Numerical simulation was carried out by PHOENICS2016 and the feasibility of the scheme was determined by k-turbulence simulation. It simulated the indoor exhaust in a university classroom (fresh air enters the room through the open window and is discharged through the exhaust outlet). According to the air age and wind field distribution, the air supply and exhaust in a university classroom were measured and the ventilation effect was analyzed. The results show that the air age values around most students are close to the average  $97\text{s}$  at the simulated exhaust air volume of  $1.7\text{m}^3/\text{h}$ , and there is no outdoor wind speed. When the Windows are fully open, the air supply wind speed of  $1.5\text{m/s}$  can be reached. Only when the natural ventilation window is fully open can indoor pollutants be removed if the air supply speed is greater than  $0.5\text{m/s}$ .

**【Keywords】** phoenics2016; numerical calculation; indoor exhaust; air age; ventilation effect

作者简介: 惠大好 (1994-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: huizhijhua@163.com

通讯作者: 狄育慧 (1964-), 女, 教授, E-mail: 470836165@qq.com

收稿日期: 2020-06-05

## 0 空气品质与空气龄

最近几十年来, 许多国家/地区的室内空气质量一直不太乐观, 出现一系列的“病态建筑综合症”——SBS (Sick Building Syndrome) [1-4]。桑德伯格学者最早在 1980 年代提出了空气龄[5]。空气龄是空气进入房间的时间。它不仅反映了室内空气的新鲜度, 还反映了去除污染物的能力。它可以全面测量房间通风的效果, 并揭示室内空气的流动形态, 它是评估室内空气质量的重要指标, 为合理选择气流

组织形式提供了依据[6]。空气龄的物理含义更容易为人们所接受, 一般来说, 空气龄数值越小, 空气越新鲜, 空气质量越好。

## 1 数值模拟

### 1.1 物理模型

研究对象为某大学的教室, 房间尺寸为  $8\text{m} \times 6.8\text{m} \times 3.5\text{m}$ , 北墙有前后两门(简化, 未画出)与走廊相连。南墙有  $2\text{m} \times 1.8\text{m}$  的两扇窗户, 且每扇

窗的尺寸为  $1\text{m} \times 1.4\text{m}$ 。在门的上方分别设排风口, 排风口的尺寸为  $0.4\text{m} \times 0.9\text{m}$ , 高度为  $2\text{m}$ 。通风换气指标  $6\text{次/h}$  作为换气次数。经过适当的简化处理, 三维物理模型如图 1 所示。



图 1 物理模型

Fig.1 Physical model

## 1.2 数值模拟

采用 PHOENICS 软件模拟过渡季节该建筑在采用一扇窗户全开形式时, 其室内的通风效果, 为该建筑的节能改造提供数据支持。

选用 PHOENICS 软件所提供的  $K-\varepsilon$  湍流模型,

表 1 数值模拟计算边界条件

Table 1 Numerical simulation calculation of boundary conditions

名称	数量	尺寸	模型类型	边界类型	参数值
房间	1 间	$8\text{m} \times 6.8\text{m} \times 3.5\text{m}$	blockage	绝热	—
窗户 1 (东)	2 扇	$1\text{m} \times 1.4\text{m}$ (扇)	opening	自由出流	大气压强
窗户 2 (西)	2 扇	$1\text{m} \times 1.4\text{m}$ (扇)	opening	自由出流	大气压强
人员	32 人	$0.3\text{m} \times 0.2\text{m} \times 1.5\text{m}$	blockage	绝热	—
排风口 1 (东)	1 个	$0.4\text{m} \times 0.9\text{m}$	inlet	—	风量- $1.7\text{m}^3/\text{s}$
排风口 2 (西)	1 个	$0.4\text{m} \times 0.9\text{m}$	inlet	—	风量- $1.7\text{m}^3/\text{s}$

## 1.5 模拟结果处理方法

PHOENICS 软件模拟结果后期处理时, 采用 Photoshop 软件处理得到的速度场云图, 即选取某一速度的相同色块, 采用面积加权平均法计算室内的平均风速。具体公式如下:

$$\bar{V} = \frac{V_1 \times S_1 + V_2 \times S_2 + \dots + V_n \times S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (2)$$

式中,  $\bar{V}$  为平均风速,  $\text{m/s}$ ;  $V_n$  为不同色块代表的速度值,  $\text{m/s}$ ;  $S_n$  为速度  $V_n$  所占据的面积,  $\text{m}^2$ 。

该模型计算成本低, 在数值计算中波动小、精度高, 广泛应用在低速湍流数值模拟中, 并且已经得到大量工程应用的验证, 可靠性高。

## 1.3 假设条件

为了简化问题, 另作如下假设: (1) 房间内空气不可压缩; (2) 房间内空气流动为稳态湍流; (3) 忽略固体壁面及室内物体间的热辐射; (4) 室内空气为透明介质; (5) 不考虑漏风影响, 认为室内气密性良好。

## 1.4 边界条件及求解模型

模拟中, 进风口为自由流出边界条件, 进风口按不同高度上的平均风速的经验公式设置为<sup>[7]</sup>:

$$\frac{v}{v_0} = \left( \frac{z}{z_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

式中,  $v$  为任一高度  $z$  处的平均风速,  $\text{m/s}$ ;  $v_0$  为基准高度处的平均风速,  $\text{m/s}$ ;  $z$  为离地面任意高度,  $\text{m}$ ;  $z_0$  为离地面标准高度, 通常取为  $10\text{m}$ ;  $\alpha$  为与地面粗糙度有关的指数。根据建筑所处环境情况<sup>[8]</sup>,  $\alpha$  值取  $0.2$ 。

数值模拟计算的具体边界条件见表 1。

## 2 数值模拟结果与分析

选取典型截面  $z=1.0\text{m}$  为学生静坐口鼻高度水平面、 $z=1.2\text{m}$  为学生站立口鼻高度水平面,  $Y=0.97$  为排风口 1 位置、 $Y=1.77$  为窗户 1 处断截面位置、 $Y=5.6$  为窗户 2 处断截面位置, 结果如图 2~3 所示。

### 2.1 空气龄分布

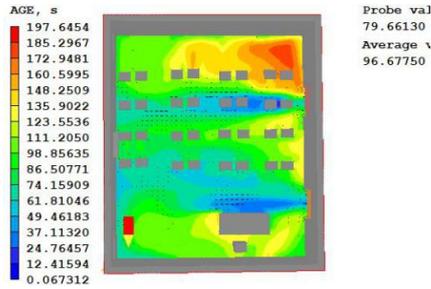


图 2 (a)  $z=1.0m$

Fig.2(a)  $z=1.0m$

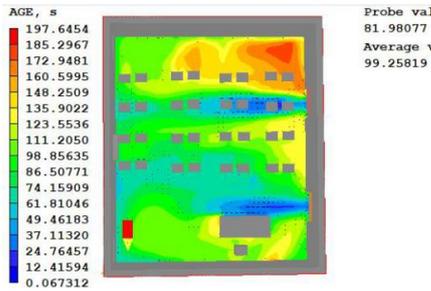


图 2 (b)  $z=1.2m$

Fig.2(b)  $z=1.2m$



图 2 (c)  $Y=0.97$  (排风口 1 处断面)

Fig.2(c)  $Y=0.97$ (Broken1 section at the exhaust vent)

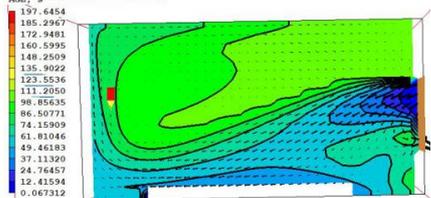


图 2 (d)  $Y=5.6$  (窗户 2 处断面)

Fig.2(d)  $Y=5.6$ (Broken2 sections at the window)

### 2.2 速度场分布

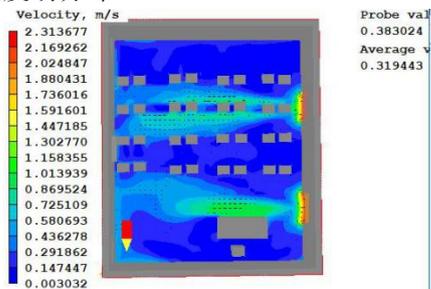


图 3 (a)  $z=1.0m$

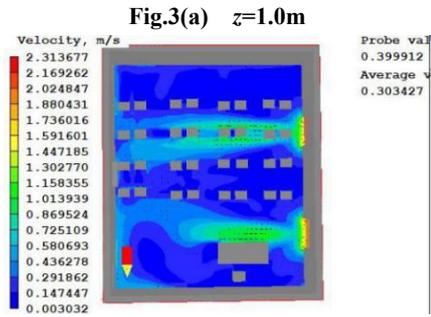


图 3 (b)  $z=1.2m$

Fig.3(b)  $z=1.2m$

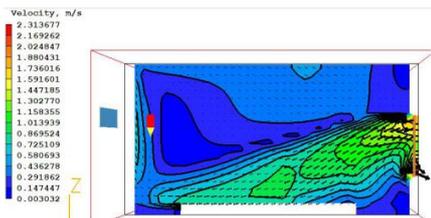


图 3 (c)  $Y=1.77$  (窗户 1 处断面)

Fig.3(c)  $Y=1.77m$ (Broken1 sections at the window)

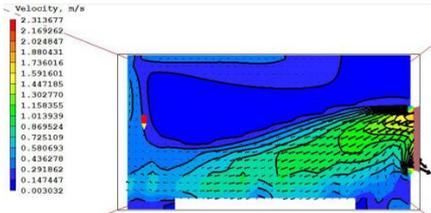


图 3 (d)  $Y=5.6$  (窗户 2 处断面)

Fig.3(d)  $Y=5.6$ (Broken2 sections at the window)

本节根据模拟结果分析过渡季节该建筑在采用一扇窗户全开形式时室内的通风效果。在评价通风效果时选用  $z=1.0m$ ，即以学生坐姿头部位置作为分析截面； $z=1.2m$  即以学生站立头部位置作为  $z$  轴高度处分析截面； $Y=0.97$ ，排风口 1 位置作为分析截面， $Y=1.77$ ，窗户 1 处断面位置作为分析截面； $Y=5.6$  窗户 2 处断面位置作为分析截面。

评价指标有两个：（1）空气龄作为室内健康通风的评价指标，空气龄  $300s$  以内时室内通风较好。（2）根据文献[8]，在工作时的舒适风速为  $0.25\sim 1.0m/s$ ，把该风速范围占据的面积比例作为评价室内气流效果的技术指标。

从图 2 (a)，2 (b) 得知，随着高度的增加，空气龄数值有一定范围的减小趋势，再结合图 2 (c) 与 2 (d) 可知，靠窗户位置的空气龄较小；靠排风口侧墙的中位置及靠窗户侧的教室前后

角处空气龄数值最大, 大于 160s; 平均空气龄数值在 97s 左右, 大多数学生周围的空气龄数值都接近平均值, 在人员活动范围内涡流较少, 通风效果较为理想。

### 3 实测验证

为了验证 CFD 模型及模拟结果的准确性, 现场进行大学教室速度场的测试, 现场测试于 2019 年 5 月 20 号 14:00~18:00 进行。测试仪器为手持式热线风速仪。

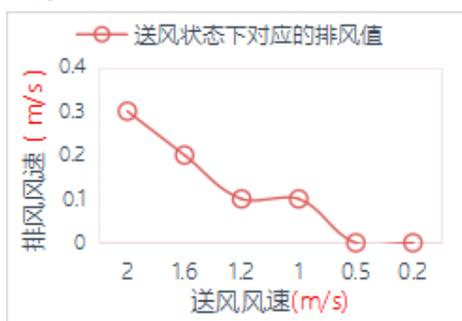


图 4 (a) 送风状态下对应的排风值

Fig.4(a) The corresponding exhaust air value under the supply air condition

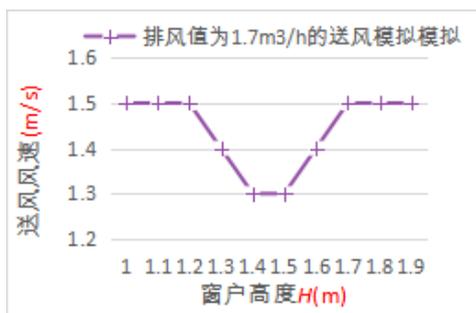


图 4 (b) 排风值为 1.7m<sup>3</sup>/h 的送风模拟模拟

Fig.4(b) Supply air simulation with exhaust air value of 1.7m<sup>3</sup>/h

图 4 (a) 为, 实测窗户全开, 仅门上方的通风窗条件下的对应的排风风速。图 4 (b) 为, 本文模拟方法下的送风值(排风值为 1.7m<sup>3</sup>/h)。从图 4

(a) 中可以发现当窗户全开时, 风速需达到 0.5m/s 以上才能达到稀释室内空气污染物的目的。所以自然通风在教室应用效果有限。

### 4 结论

应用数值模拟软件 PHOENICS 对某中学教师进行模拟, 得出了以下结论:

(1) 以 6 次/h 作为通风换气次数, 模拟效果较好。

(2) 根据图 2~3 的结果可以得知, 利用室内排风可以有效的改善室内的气流组织, 减少空气龄数值, 使得空气在室内停留的时间较短, 有利于改善室内的空气品质。

### 参考文献:

- [1] 朱颖心. 建筑环境学(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] NIOSH, NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Healthy) 进行的办公建筑 IAQ 调查分析结果[R]. NIOSH, 1993.
- [3] Bearg, W David. Indoor air quality and HVAC systems[R]. Lewis Publishers, 1993:12-20.
- [4] 马仁民. 国外非工业建筑室内空气品质研究动态[J]. 暖通空调, 1999, 29(2):38-41.
- [5] M sandberg, M Sjoberg. The use of moments for assessing air quantity in ventilated rooms[J]. Building and Environment, 1983, 18(4):181-197.
- [6] 王伟哈, 黄志甲, 许强生. 不同气流组织形式下空气龄的实验研究[J]. 建筑热能通风空调, 2006, 25(2):79-82.
- [7] 张华玲, 周甜甜. 低碳建筑在方案阶段的自然通风模拟设计[J]. 工业建筑, 2012, 42(2):1-4.
- [8] GB 50736-2012, 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [9] 朱唯, 狄育慧, 王万江, 等. 室内环境与自然通风[J]. 建筑科学与工程学报, 2006, 23(1):90-94.